

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra výrobních strojů a konstruování



## **Mazání ložisek elektromotorů**

Lubrication of the Bearings in the Electric Motors

Student: Petr Cais

Vedoucí práce: Ing. Ladislav Hrabec, Ph.D.

Ostrava 2009

# Obsah

<b>1. Úvod .....</b>	<b>10</b>
<b>2. Rozdělení maziv .....</b>	<b>12</b>
2.1. Plastická maziva.....	12
2.1.1. Zahušťovadla.....	12
2.1.2. Provozní teploty.....	14
2.1.3. Viskozita. ....	15
2.1.4. Konzistence.....	17
2.1.5. Ochrana proti korozi. ....	18
2.1.6. Mísitelnost plastických maziv.....	18
2.1.7. Aditiva.....	19
2.1.8. Domazávání. ....	20
2.1.9. Čistota a manipulace s plastickým mazivem. ....	21
2.2. Mazání olejem. ....	24
2.2.1. Způsoby mazání olejem. ....	24
2.2.2. Mazací oleje. ....	25
2.2.3. Volba mazacího oleje. ....	26
2.2.4. Výměna oleje.....	27
2.2.5. Přeprava oleje. ....	27
2.3. Mazání tuhým mazivem.....	27
<b>3. Valivá ložiska .....</b>	<b>28</b>
3.1. Montáž a demontáž valivých ložisek.....	28
3.1.1. Příprava na montáž. ....	28

3.1.2. Montáž valivých ložisek a manipulace.....	29
3.1.3. Záběh. ....	30
3.1.4. Demontáž valivých ložisek. ....	30
3.2. Skladování.....	30
<b>4. Cíl údržby a diagnostiky valivých ložisek .....</b>	<b>31</b>
4.1. Údržba valivých ložisek. ....	31
4.2. Vibrodiagnostika valivých ložisek.....	31
4.3. Kontrola teploty valivých ložisek. ....	32
<b>5. Trojfázový asynchronní motor .....</b>	<b>33</b>
5.1. Princip činnosti asynchronního motoru .....	33
5.1.1. Použití elektromotoru.....	34
5.1.2. Spouštění elektromotoru. ....	35
5.1.3. Změna otáček.....	35
5.2. Ložiskový uzel elektromotoru .....	35
5.2.1. Přední ložiskový uzel.....	36
5.2.2. Zadní ložiskový uzel. ....	37
5.2.3. Těsnění ložiskových uzlů.....	37
<b>6. Řešení mazání valivých ložisek.....</b>	<b>39</b>
6.1. Vlastnosti a použití .....	40
6.2. Výpočet množství maziva .....	40
<b>7. Závěr .....</b>	<b>47</b>
<b>Literatura .....</b>	<b>46</b>

# 1 Úvod

Prodlužování doby životnosti valivých ložisek, snižování ztrát v ložiscích, delší domazávací interval u aplikací s možností domazávání ložisek, optimální množství použitého plastického maziva. To je několik aspektů, které ovlivňují jednak prvotní náklady u výrobce zařízení, které je dané množstvím spotřebovaného plastického maziva nebo mazacího oleje. Od množství použitého plastického maziva se odvíjí způsob dávkování při montáži ložisek na dílně, způsob uložení ještě nepoužitého maziva, manipulace s nádobami s mazivem. Další náklady jsou spojené s provozem strojů a zařízení, kde vhodnou diagnostikou můžeme určit nutnost výměny nebo domazání plastického maziva, výměnu mazacího oleje, případně výměnu valivého ložiska.

Maziva všeho druhu mají několik úkolů. Jednak se musí postarat o dokonalé mazání valivých ploch ložisek, aby nedošlo ke styku kovu na kov. Dále mají funkci protikoroze, kdy zabraňují korozi styčných ploch a celého ložiskového uložení. Nečistoty způsobené korozí by na povrchu valivých ploch ložisek způsobily poškození s následným zkrácením životnosti ložisek. Stejně je to i s prachovými částicemi, které se nesmí dostat mezi kuličky a vnější nebo vnitřní kroužek ložiska. Dalším úkolem je zabránění pronikání vlhkosti. Vlhkost způsobuje jednak korozi a jednak snižuje kvalitu použitého maziva.

Pro mazání valivých ložisek je možné použít široké spektrum olejů, plastických maziv, ale i tuhých maziv. Výběr způsobu mazání závisí do značné míry na provozních podmínkách zařízení, kterými jsou teplota okolí, prašnost, vlhkost, otáčky. Tuhá maziva se používají pouze pro vysoké teploty, kde již není možné použití plastického maziva, případně oleje. Olej je vhodný pro aplikaci, kde je potřeba např. snížit teplotu ložisek, kdy olej odvádí teplo z ložiska a zároveň je možná jeho filtrace. Tím se prodlužuje jeho životnost a životnost ložisek, když dojde k odstranění nečistot z olejové lázně.

Nejvhodnější pro mazání valivých ložisek, obzvlášť u asynchronních elektromotorů je plastické mazivo. Tato volba má opět spoustu variant podle provozních podmínek stroje. Některá ložiska se dodávají uzavřená krytkami s trvalou tukovou náplní, která je určena po celou dobu životnosti ložiska. Jiná mají od výrobce pouze konzervační protikorozi olej, který je při montáži nahrazen plastickým mazivem. Plastické mazivo u valivých ložisek má proti oleji celou řadu výhod. Zabraňuje vnikání nečistot, vlhkosti, případně kapalin do ložisek, déle lépe drží v ložisku i při vertikální montáži hřídele. Má jednodušší provedení ložiskových uzlů, které nemusí být v oleji těsném provedení, jako při použití oleje.

Protože mazací schopnost maziva, ať už oleje nebo plastických maziv, se v čase vlivem znečištění, absorbováním vzdušné vlhkosti, mechanickým namáháním a stárnutím maziva snižuje, tak je nutné z výše uvedených důvodů nutné u olejů provést filtraci (ta pomůže ale jen od nečistot) nebo provést výměnu olejové náplně za novou. U plastických maziv to je možnost buď domazáním ložiska, pokud je od výrobce tato možnost umožněna vhodným způsobem, např. přes domazávací hlavici, nebo vymytím původního maziva a náhradou novým plastickým mazivem. U ložisek, která jsou oboustranně uzavřená krytkou s trvalou tukovou náplní, se provede výměna ložiska za nové. U oboustranně krytých ložisek je potřeba přihlédnout k životnosti ložiska a zároveň i k životnosti maziva.

## 2 Rozdělení maziv

### 2.1 Plastická maziva

Plastická maziva jsou vyráběna ze základových olejů, zpravidla minerálních olejů nebo syntetických olejů, zahušťovadel a aditiv. Základový olej, zahušťovadla, aditiva a výrobní postupy jsou faktory zajišťující vysokou výkonnost plastických maziv. Olejová složka v plastickém mazivu tvoří až 90%.

Plastická maziva jsou konstrukčními prvky především tam, kde se požaduje jejich dlouhá životnost pro účely trvalého mazání. Několik gramů plastického maziva má často rozhodující vliv na vysoké náklady na opravy, nehledě k následným výdajům v důsledku zastavení stroje. Vyplatí se tedy z důvodu eliminace více nákladů věnovat plastickým mazivům náležitou pozornost.

Použití plastických maziv se doporučuje vždy, když požadujeme:

1. dobré povrchové krytí
2. nízké hodnoty tření
3. ochranu proti opotřebení při vysokém mechanickém zatížení
4. ochranu proti korozi
5. utěsnění proti nečistotám
6. odolnost vůči vodě
7. odolnost proti rozpouštědlům
8. příznivou viskozitu za různých teplot
9. tlumení hluku a vibrací

#### 2.1.1 Zahušťovadla

Plastická maziva jsou všeobecně minerální oleje zahuštěné kovovými mýdly, dále existují i jiná zahušťovadla, např. gely, močovina. Zahušťovadla jsou rozhodující pro vlastnosti plastických maziv jako je bod skápnutí, chování a odolnost vůči vodě a vlhkosti, užitná teplota.

Rozdělení a označení podle zahušťovadel:

- Li lithné plastické mazivo
- Ca vápenaté plastické mazivo
- Na sodné plastické mazivo
- Li-K komplexní lithné mazivo
- Ca-S zvláštní vápenaté mazivo
- SI komplexní vápenaté mazivo
- Na-S syntetické komplexní sodné mazivo
- Ge plastické mazivo zahuštěné gelem
- OV organická zahušťovadla
- Po polymerní

Bod skápnutí je teplota, při které mazivo dle podmínek zkoušky DIN ISO 2176 protéká otvorem maznice. Není to ale hodnota, která by přímo souvisela s maximální teplotou použití.

Zkouška odolnosti vůči vodě se provádí v destilované vodě na proužku skla. Výsledek zkoušky je stejně jako bod skápnutí pouze označením vlastnosti. Nelze z něj vyvozovat závěry. V provozu má na plastické mazivo vliv celá řada faktorů. Výsledky zkoušek odolnosti vůči vodě jsou uvedeny v tabulce č.1

Hodnota	Význam	Zaznamenané změny
0	beze změny	žádné rozpoznatelné změny
1	nepatrné změny	změna barvy (zesvětlení) povrchu plastického maziva, zakládá se na nepatrném příjmu vody v horní vrstvě plastického maziva, např. je patrné u lithného plast. Maziva
2	značné změny	začínající rozpouštění plast. maziva, tvoří se bílo-nažloutlá slizovitá vrstva na povrchu a mírný až silný zákal vody
3		částečné nebo úplné rozpuštění plastického maziva, často s odloučením oleje, místy se tvoří mléčná bílá emulze oleje ve vodě.

**Tabulka 1** Hodnocení odolnosti vůči vodě

### 2.1.2 Provozní teploty

Údaje o horní provozní nebo užitné teplotě vyplývají z praktických zkušeností, laboratorních zkoušek a mechanicko-dynamických zkoušek. Záleží také na tom, jaké je použité zahušťovadlo, na typu základního oleje a aditiv.

Dolní mezní hodnota je nejnižší teplota, při které je ještě možné ložisko s plastickým mazivem uvést do pohybu. Tuto teplotu určuje hlavně typ použitého oleje a viskozita maziva.



Horní mezní hodnota je zase daná typem zahušťovadla plastického maziva. U plastických maziv na bázi mýdla je určující bod skápnutí. Jedná se o teplotu, při níž dochází u plastického maziva ke ztrátě jeho konzistence a začíná kapalnět. U horní mezní teploty je nutné počítat nejenom s teplotou okolí, ale i s naměřenou hodnotou oteplení ložiska za provozu v zatíženém stavu. Pokud je teplota okolí např. 60°C a oteplení ložiska 70°C, tak výsledná teplota ložiska je 130°C. Tuto teplotu je potřeba brát jako provozní teplotu a vybrat vhodné plastické mazivo. Volba maziva s bodem skápnutí 150°C by v tomto případě byla jednoznačně nevhodná.

Další problém s provozní teplotou 130°C je, že všechna standardní valivá ložiska jsou vyráběná a teplotně stabilizovaná na teplotu do 125°C. Protože dochází k využití výkonů strojů v co největší možné míře a tím dochází k zatížení ložisek a následně zvyšování teploty na ložiscích, tak je nutné již na počátku definovat několik základních parametrů provozních podmínek. Na jejich základě je pak možné zvolit vhodné uložení ložisek, jejich radiální vůli, použité mazivo, domazávací interval a samozřejmě i vhodnou formu diagnostiky ložisek.

### **2.1.3 Viskozita**

Pro správnou funkci valivých ložisek musí být mezi valivými plochami ložisek tenká vrstva maziva. To znamená, že plastické mazivo musí mít za provozu danou minimální viskozitu, aby bylo zajištěno dostatečné mazání. Viskozita maziva záleží především na těchto faktorech:

- na teplotě
- na velikosti ložiska
- provozních otáčkách valivého ložiska

Přehled viskozitních tříd podle normy ISO 3448 je uveden v tabulce č.2. Jako základní rozhodovací teplota se bere 40°C

Viskozitní třída	Střední hodnota	min	max
ISO VG 2	2,2	1,98	2,42
ISO VG 3	3,2	2,88	3,52
ISO VG 5	4,6	4,14	5,06
ISO VG 7	6,8	6,12	7,48
ISO VG 10	10	9	11
ISO VG 15	15	13,5	16,5
ISO VG 22	22	19,8	24,2
ISO VG 32	32	28,8	35,2
ISO VG 46	46	41,4	50,6
ISO VG 68	68	61,2	74,8
ISO VG 100	100	90	110
ISO VG 150	150	135	165
ISO VG 220	220	198	242
ISO VG 320	320	288	352
ISO VG 460	460	414	506
ISO VG 680	680	612	748
ISO VG 1000	1000	900	1100
ISO VG 1500	1500	1350	1650

**Tabulka 2** Viskozitní třídy maziv

Základní olejová složka má obvyklou viskozitu  $15 - 500 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$  při  $40^\circ\text{C}$ . Vyšší viskozita než  $1000 \text{ mm}^2/\text{s}$  při  $40^\circ\text{C}$  má u plastických maziv za následek pomalé uvolňování oleje. Při pomalém uvolňování olejové složky pak dochází k nedostatečnému mazání valivých ložisek. Velká viskozita je vhodná pouze u pomaluběžných strojů s nízkými otáčkami.

## 2.1.4 Konzistence

Plastická maziva se rozdělují do různých tříd konzistence. Rozdělení se provádí podle klasifikace **NLGI** (National Lubricating Grease Institute) do různých konzistenčních tříd, které jsou uvedeny v tabulce č. 3. Konzistence plastických maziv by se v závislosti na změnách teplot neměla nějak výrazně měnit ani v závislosti na teplotě nebo na mechanickém zatížení. Pokud plastické mazivo se zvýšenou teplotou měkne, tak dojde k jeho unikání z valivých ložisek, což má za následek nedostatečné mazání a následkem by byla havárie. Pouze vhodná diagnostika by odhalila závadu na oběžných drahách ložisek. Pokud by došlo k použití plastického maziva, které zase s klesající teplotou tuhne, tak by došlo k nedostatečnému uvolňování oleje, opět k nedostatečnému mazání ložiska olejem a velkým energetickým ztrátám.

<b>Třída NLGI dle DIN 51 818</b>	<b>Penetrace po prohnětení dle DIN ISO 2137 (0,1 mm)</b>	<b>Popis</b>
000	445 až 475	tekuté
00	400 až 430	tekuté
0	355 až 385	tekuté
1	310 až 340	velmi měkké
2	265 až 295	měkké
3	220 až 250	ještě měkké
4	175 až 205	středně pevné
5	130 až 160	pevné
6	85 až 115	velmi pevné

**Tabulka 3** Rozdělení podle konzistence

Pro mazání valivých ložisek se především používají plastická maziva konzistentních tříd NLGI 1,2 a 3. Z toho jsou jako nejvhodnější a nejvíce využívaná maziva s konzistentní třídou 2. Plastická maziva, která mají nižší viskozitu, jsou použitelná v prostředí nižších provozních teplot. Pokud je hřídel uložena vertikálně, je zase vhodné použití plastického maziva s konzistentní třídou 3. U této aplikace je důležité zabránit vhodným způsobem úniku maziva z prostoru valivého ložiska. Pokud je zařízení namáháno vibracemi, dochází k mechanickému namáhání plastického maziva a musí být zvolena vyšší konzistentní třída. Vyšší konzistentní třída může mít ale za následek nedostatečné mazání ložiska.

### 2.1.5 Ochrana proti korozi

Odolnost proti korozi je v podstatě odolnost proti vodě a vlhkosti. Pokud by došlo k vniknutí vody do valivého ložiska, tak nesmí dojít k vyplavení plastického maziva ven z ložiska. Odolnost vůči vodě zajišťuje pouze zvolený typ zahušťovadla. Největší odolnost mají sodná komplexní, lithná komplexní a polymočovinová zahušťovadla. Pokud jsou malé provozní otáčky, je dobré zaplnit celý prostor ložiska plastickým mazivem, aby se zabránilo vnikání vody a vlhkosti. Protikorozní vlastnosti zajišťují také použité přísady proti korozi, která se do maziv přidávají.

### 2.1.6 Mísitelnost plastických maziv

Obecně se plastická maziva **nesmí mísit**. Pouze u těch, které mají použité stejné zahušťovadlo a mají podobnou základovou olejovou složku, je předpoklad, že nedojde k negativní změně vlastností. Pokud chceme změnit typ maziva, musíme nejdříve zajistit vymytí ložiska. Teprve potom je možné provést namazání novým druhem plastického maziva. Pokud dojde ke smíchání nemísitelných maziv, tak to má za následek změnu konzistence maziva. Může dojít ke snížení konzistence a tím k následnému úniku plastického maziva z ložiska. Následovala by opět havárie valivého ložiska.

Pokud je tedy dovolené domazávání stroje přes domazávací hlavici, je nutné dodržet údaje na domazávacím štítku. Jedná se jak o množství a interval dodaného maziva, tak o typ maziva. Nenechat tedy údržbáře domazávat stejným plastickým mazivem zařízení, které je umístěné ve venkovním prostředí a druhé, které je umístěné uvnitř objektu u elektrické pece. V těchto případech bude rozdílná teplota okolí a je zde předpoklad použití odlišných plastických maziv. Takže je nutné zajistit řádné označení mazacích lisů typem plastického maziva.

### 2.1.7 Aditiva

Životnost ložisek je ovlivněna tloušťkou mazivového filmu mezi valivými částmi ložisek. Tento film zabraňuje styku kov na kov mezi kuličkou a kroužkem ložiska, včetně jejich nerovností. Pokud dojde ke snížení tohoto filmu, dojde ke kontaktu kovových částí valivých ložisek. Tomuto jevu zabraňují různé přísady, které se přidávají do plastických maziv. Tyto přísady se obecně nazývají jako **aditiva**.

Pokud dojde ke kontaktu kov na kov vlivem vrcholkových nerovností, tak dojde v místě styku k podstatnému zvýšení teploty. Toto zvýšení teploty má za následek aktivování složky, která je přidaná do plastického maziva ve formě aditiv. Tyto složky se označují **EP** (Extreme Pressure). Tato aditiva eliminují napětí, vyhlazují povrch, snižují napětí v místě styku a prodlužují tím životnost valivých ložisek. Většina takovýchto přísad do plastických maziv obsahuje síru nebo fosfor. Tyto přísady za určitých okolností ovlivňují pevnost ocelových klecí. V místech zvýšeného napětí dochází ke zvýšení teplot a tím začne chemická reakce (koroze). Dojde k mikropittingu, který skončí havárií valivého ložiska. Při provozních teplotách nad 100°C by z tohoto důvodu neměla být používána aditiva EP.

Další aditiva, která se používají, mají označení **AW** (Anti-wear). Tato aditiva mají také zabránit styku kov na kov, ale mají odlišnou funkci. Vytvářejí na povrchu ochrannou vrstvu, vrcholky nerovností pak po sobě kloužou a nedochází tím k jejich kontaktu. Protože i tato aditiva mají podobné chemické složení, opět zde může docházet k poškození klece ložiska.

Používání aditiv je tedy nutné volit s rozvahou. Pokud je zajištěná dostatečná tloušťka filmu mezi kuličkou a ložiskovým kroužkem, není pak nutné používat plastická maziva s přísadou aditiv.

### 2.1.8 Domazávání

Pokud provozní trvanlivost ložiska je delší než trvanlivost plastického maziva, je nutné provádět domazání ložisek v předepsaném intervalu dle návodu na obsluhu daného zařízení. V případě elektromotorů záleží na jejich nasazení v provozu. U nepřetržitých provozů je zřejmé, že dojde dříve ke skončení životnosti valivých ložisek z provozních důvodů. Tam, kde je elektromotor v provozu průměrně třeba jen 2 hodiny denně a jen v pracovní dny, tak při životnosti ložiska je nutné provést vhodným způsobem domazání ložiska. Příklad je uveden v tabulce č. 4, kde je navržená životnost 5000 hodin, předpokládejme stejné podmínky ohledně teploty okolí a zatížení valivých ložisek.

Provoz	Životnost [hod]	Životnost [roky]
nepřetržitý	5 000	0,57
2 h/den	5 000	9,58

**Tabulka 4** Životnost ložiska v závislosti na době provozu

Z tabulky je zcela zřejmé, že životnost ložiska u nepřetržitého provozu je přibližně půl roku. Pak je nutné provést jeho výměnu za nové ložisko a není nutné provádět žádné domazávání ložiska mazivem. Zcela jiná je situace u druhého případu, kde životnost ložiska značně přesáhne životnost plastického maziva. V tomto případě je tedy nutné provést domazání ložiska v průběhu jeho životnosti.

Domazávací interval se úměrně zkracuje se vzrůstající teplotou okolí. Záleží i na použitých ložiscích.

Postup při domazávání valivých ložisek. Doplnění maziva se doporučuje u nepřetržitých provozů provést za 6 měsíců. U delšího časového období se domazávání provede podle plánu údržby, které je pro dané zařízení. V provozech, kde je velká prašnost a vlivem těchto nečistot by došlo k poškození valivých částí ložisek se doporučuje provádět nepřetržité domazávání. U takového způsobu je ale problém s teplotou ložisek, protože v jeho okolí se nachází stále velké množství plastického maziva, které způsobuje zahřívání ložisek. Zde je potřeba vhodným způsobem zajistit odvod použitého maziva pryč od valivého ložiska. K tomu účelu se dá využít např. odstříkovací kroužek.

Aby se dosáhlo dostatečné náhrady starého plastického maziva za nové, tak je důležité provádět domazávání za chodu stroje. Pokud je stroj v klidu, nedojde k vytlačení starého maziva ven z ložiska po celém obvodě, ale jen v místě vyústění domazávacího kanálu. Pokud je náplň plastického maziva měněna po dosažení konce domazávacího intervalu nebo po stanoveném počtu domazání dle návodu na obsluhu stroje, tak je nutné použité plastické mazivo zcela odstranit a nahradit jej novým. Před takovou operací je vhodné mít k dispozici prováděnou diagnostiku ložiska, aby se provedla jeho případná výměna, dokud je stroj rozebraný. Pokud by zůstalo původní ložisko a došlo by třeba k jeho havárii za cca 2 měsíce, tak by to znamenalo zbytečné odstavení provozu, opětovnou demontáž a montáž. Těmto zbytečným vícenákladům by se předešlo správnou diagnostikou a včasnou výměnou valivého ložiska za nové. Nové ložisko pak může vydržet zase předepsaný počet domazávacích intervalů v průběhu několika let. Zde ale záleží na konkrétním stroji, druhu provozu, přístupu k výměně, časové náročnosti, aj.

### **2.1.9 Čistota a manipulace s plastickým mazivem**

Používání původního obalu plastického maziva (plechovka, barel nebo sud) v mazacím systému nám minimalizuje rizika znečištění [6]. Dnes se většina plastických maziv dodává v sudech s plastovým pláštěm. Mazivo tak není v přímém kontaktu se stěnou.

Je celá řada možností, jakým způsobem manipulovat s plastickými mazivy. Existují pneumatická čerpadla bez membrány. Když v průběhu odebírání maziva dostatečně poklesne jeho hladina, vytvoří se prázdný prostor, který se podobá kráteru. Čerpadlo v té chvíli začne nasávat vzduch. V tomto případě obsluha většinou nakloní sací trubku, aby čerpadlo mohlo brát mazivo po obvodu tohoto prostoru. Hladina maziva je tak stále ve styku se znečištěným okolním vzduchem. Okolní vzduch je do sudu nasáván z jeho okolí a způsobuje větší či menší znečištění plastického maziva a tím i zhoršení jeho vlastností.

Lepší variantou je použití pneumatického čerpadla pro plastická maziva s membránou. Při odebírání plastického maziva pak klesá membrána s hladinou ke dnu sudu a odděluje mazivo od atmosféry. Jakmile je hladina plastického maziva ve spodní části sudu, čerpadlo začne nasávat vzduch, který bezpodmínečně přivede nečistoty k mazivu. Jakmile čerpadlo začne nasávat vzduch, přestane čerpat a je nutné sud s mazivem vyměnit za nový. Asi 15 - 20 kg maziva z celého sudu (180 kg) se tak nespotřebuje. Toto mazivo je po vystavení atmosféře znehodnoceno.

Další možností je systém pro dokonalé vyprázdnění sudu. Tento moderní způsob manipulace s plastickými mazivy má zcela jiné konstrukční provedení. Jde o to, že čerpadlo je přímo připojeno k plovoucí membráně. Tato koncepce je navržena jako zcela uzavřený systém pro manipulaci s plastickým mazivem a dosahuje úplného vyprázdnění sudu. V sudu zůstává pouze zbytek maziva v dutině membrány (cca 1,5 - 1,9 kg). Čerpadlo je navíc konstrukčně provedené tak, aby byla možnost připojení zpětného potrubí, které ústí pod membránou. Pokud je čerpadlo používáno v systému, kdy je připojena zpětná větev, tak je nespotřebované mazivo vrácené zpět pod membránu. V tomto systému nedochází ke styku plastického maziva s okolním vzduchem a tím nedochází k jeho znečišťování. Pokud se zpětné potrubí nepoužívá, tak musí být přípojky uzavřeny zátkou.

Úspory a výhody tohoto systému jsou v dokonalém využití plastického maziva. Další důležitou vlastností je, že **nedochází ke znečištění** a k oxidaci plastického maziva, protože systém je stále uzavřený. To má za následek čisté mazivo v ložisku => žádné prvotní znečištění ložiska => nezkrácená životnost ložiska.



## Doprava a skladování

Dnešní nové a kvalitní stroje [7] vyžadují vysokou kvalitu mazacích olejů a plastických maziv. Aby se zabránilo škodám na strojích, musí být zabezpečeno jejich správné skladování, vyskladňování, rozdělování a dodávání na mazací místa. Většina maziv je dodávána v sudech, menší množství ve kbelících, kanystrech nebo plechovkách. Pokud má být dodáno větší množství maziv, pak jsou dodávky realizovány v kontejnerech, v cisternových vozech nebo v železničních cisternách.

Při přepravě obalů od maziv a jejich vykládce mohou z neodborné manipulace, ale i z neopatrnosti vzniknout škody na obalech, které mohou vést v konečném důsledku ke škodám na mazivech. V žádném případě nesmějí být sudy z ložné plochy nákladního auta shazovány, ani na měkké podklady, jako např. na staré pneumatiky a pod. Snadno by mohlo dojít k natržení svarů sudů. Kromě poškození samotného obalu hrozí i **nebezpečí úrazu a ohrožení životního prostředí**. Sudy by měly být přepravovány na paletách a vykládány vysokozdvížným vozíkem.

V zásadě by měla být plastická maziva skladována v uzavřených a temperovaných prostorech. Povětrnostními podmínkami se také pozvolna poškozuje označení sudů. Pokud nelze zabránit meziskladování na volném prostranství, mělo by se alespoň dbát na to, aby sudy byly skladovány pod přístřeškem a byly bezpodmínečně skladovány naležato. Pokud jsou sudy skladovány na volném prostranství ve stojaté poloze, může se na víku sudu zachytit voda a další nečistoty. Pokud by zátka na sudu byla špatně utěsněná, mohlo by dojít ke znečištění plastického maziva a tím k jeho znehodnocení.

Místnost určená pro skladování maziv má být suchá, pokud možno rovnoměrně temperovaná a bezpodmínečně zajištěná proti mrazu. Umístění skladu v závodě by mělo být voleno tak, aby vzdálenost k místu spotřeby byla co nejkratší. Další předpoklady pro umístění skladu je dobrá příjezdová komunikace, snadné možnosti manipulace při vykládce a nakládce obalů. Vhodná stavební úprava pro vykládku je rampa. Pokud není možnost vybudování nájezdové rampy, je důležité použití vhodného vysokozdvížného vozíku. Vykládka by měla být rychlá, ale zároveň bezpečná pro pracovníky i přírodu. Velikost skladovacího prostoru se řídí množstvím a sortimentem potřebných maziv. Je potřeba vzít ohled na maximální potřebné množství skladovaných maziv. Pro běžnou spotřebu se doporučuje mít zásobu na 3 měsíce. Při zřizování skladu by se mělo počítat i s pozdější možností rozšíření výroby, která by měla za následek zvýšení spotřeby. Takže je vhodné už při prvním návrhu skladovacích prostor počítat s možností jejich rozšíření, protože budování nového skladu maziv je ve většině případů dražší, než rozšíření stávajících skladovacích prostor.

## 2.2 Mazání olejem

Použití oleje pro mazání valivých ložisek je vhodné pouze v případech, kdy jsou vysoké provozní otáčky, vysoká okolní teplota a nebo je nutné z provozních důvodů odvádět teplo vzniklé v ložisku. Další variantou pro mazání olejem jsou převodovky, kde jsou ozubená kola mazaná olejem a je tedy vhodné použít tohoto oleje i k mazání valivého ložiska umístěného uvnitř převodové skříně. Mazání olejem je proti plastickému mazivu náročnější na utěsnění ložiskových uzlů.

### 2.2.1 Způsoby mazání olejem

Nejjednodušší způsob mazání olejem je **olejová lázeň**. Hladina oleje by za klidu měla dosahovat k ose nejnižšího valivého členu ložiska. Za chodu je olej zachycen pohybujícími se částmi ložiska, rozptýlen v ložisku a jeho okolí. Potom se olej vrací zpět do olejové vany.

Další varianta mazání olejem je pomocí **mazacího kroužku**. Mazací kroužek je v navlečen na hřídel a v dolní části je ponořen do oleje. Za chodu dopraví olej nahoru do sběrného kanálu, odkud je rozveden k jednotlivým valivým ložiskům.

Pokud jsou vysoké provozní otáčky a tím je i vysoká provozní teplota, tak dochází i k velkému ohřívání oleje. Vzrůstající teplota urychluje stárnutí oleje, je tedy nutné jeho ochlazování. V takovém případě se uplatní **nucený oběh** pomocí olejového čerpadla, který je možné spojit s filtrací oleje. Sání je prováděno přes filtr z olejové vany pomocí olejového čerpadla, dále je olej dopraven k ložisku a odtud se zase vrací do olejové vany. Před návratem do olejové vany je možné jej ještě případně ochladit v chladiči.

Mazání **vstřikovaným olejem** se uplatní u aplikací s velmi vysokými otáčkami. Olej je vstřikován ze strany do ložiska. Rychlost paprsku by měla být  $15 \text{ m.s}^{-1}$ , aby mohl olej proniknout vířivými proudy v okolí ložiska.

Pro mazání olejem se používá také systém **olej-vzduch**. V tomto případě je přesně stanovené množství oleje přiváděné pomocí tlakového vzduchu přímo k ložisku. U tohoto provedení je tak dosaženo nízkých teplot a zároveň vysokých otáček než u předchozích způsobů mazání olejem. Vzduch totiž účinně chladí ložisko a vzniklý přetlak vzduchu nedovolí vniknutí nečistot do prostoru ložiska (není zde třeba řešit ani problematiku těsnění ložisek). Tento způsob mazání je vhodný např. u pneumatických utahováků. Olej se do vzduchu přidává centrálně v kompresorové stanici.

Jako poslední varianta je mazání **olejovou mlhou**. Tento způsob se ale moc nepoužívá.

### 2.2.2 Mazací oleje

Pro mazání valivých ložisek se nejvíce používají čisté **minerální oleje**, ale je možné se setkat i se syntetickými oleji. V minerálních olejích nejsou většinou použité žádné další přísady. Pokud dojde k jejich použití, platí zde již uvedené vlastnosti v odstavci 2.1.7 o aditivech EP a AW.

Ze syntetických olejů jsou nejdůležitější s těmito základními složkami:

- Polyalfaolefiny
- Estery
- Polyalkylenglykoly

Vlastnosti uvedených olejů jsou uvedeny v tabulce č.5

Typ základní olejové složky	Bod tuhnutí [°C]	Viskozitní index	Součinitel tlak-viskozita
Minerální	-30 .. 0	nízký	velký
Polyalfaolefín	-50 .. -40	střední	střední
Ester	-60 .. -40	velký	nízký až střední
Polyalkylenglykol	-30	velký	velký

**Tabulka 5** Vlastnosti druhů olejů

Z důvodu únavové životnosti ložisek je důležitá tloušťka mazivového filmu. Pokud je místo zaplavené olejem, tak v místě styku ji ovlivňuje:

- viskozita oleje
- viskozitní index
- součinitel tlak-viskozita

Se vzrůstajícím tlakem však dochází ke změně viskozity. Viskozita je závislá na chemickém složení základní složky mazacího oleje. Z tohoto důvodu dochází ke změnám součinitelů tlak-viskozita pro různé typy syntetických základních složek.

### 2.2.3 Volba mazacího oleje

To, jaký zvolíme mazací olej, záleží na viskozitě, která je potřebná pro správné zajištění mazání. Se vzrůstající teplotou dochází ke snižování viskozity mazacího oleje a tím ke změně parametrů v mazacím systému. Je tedy potřeba uvažovat jaká je provozní teplota a podle toho zvolit vhodný mazací olej, aby byl i se sníženou viskozitou zajištěn dostatečný film mezi valivými částmi ložisek.

### 2.2.4 Výměna oleje

Výměna oleje záleží na provozních podmínkách stroje, ale i tak by měl být vyměněn alespoň jednou ročně. To je za předpokladu, že provozní teplota nepřesahuje 50°C. Při náročnějších provozních podmínkách se musí měnit častěji. Pokud je olej filtrován a zároveň je prováděno jeho chlazení, tak je interval výměny delší, než u nechlazeného a nefiltrovaného oleje. Přesné vlastnosti mazacího oleje v systému je možné zjistit jen na základě testů. Jediná aplikace, kde se nemusíme zabývat vlastnostmi oleje, je u již dříve zmíněného systému mazání olej-vzduch. V tomto případě projde olej ložiskem pouze jednou a nevrací se zpět do oběhu.

### 2.2.5 Přeprava oleje

Na přepravu olejů [5] ve velkém množství se používají především cisterny. Pokud je v nich přepravován olej s vysokou viskozitou, tak tyto cisterny musí být pro použití v zimě vybaveny topným hadem a vnější plášť by měl mít vhodnou tepelnou izolaci. Protože se při mrazu zvyšuje viskozita, může být před stáčením nutné zahřátí cisterny. I přesto, že sudy mají uzavřené a zaplombované zátky, tak vlivem změny okolní teploty dochází k tepelnému roztahování a smršťování oleje uvnitř sudu. Při ochlazení pak vznikne podtlak a může dojít k nasátí okolního vzduchu. S ním mohou vniknout dovnitř i další nečistoty, které nám následně znehodnotí skladovaný olej.

## **2.3 Mazání tuhým mazivem**

Mazání tuhým mazivem se používá pouze v případech, kdy by mazání plastickým mazivem nebo mazacím olejem bylo nedostatečné, tedy jde o mazání za vysokých teplot nebo za vysokých tlaků. Jedná se např. o směs sirníku molybdeničitého a ropného oleje.

## 3 Valivá ložiska

### 3.1 Montáž a demontáž valivých ložisek

Při montáži všech ložisek [3], [5] se požaduje dodržení montážních postupů, pokynů pro manipulaci a hlavně **dodržení čistoty**. Valivá ložiska jsou přesné výrobky, které vyžadují opatrnou manipulaci s vhodným nářadím pro montáž a demontáž. Pokud není ložisko správně namontováno, nemůže správně plnit svou funkci, může být nepřiměřeně namáhané a tím dojde ke zkrácení jeho životnosti. **Bezchybná montáž** ovlivňuje budoucí vlastnosti valivého ložiska.

Ložiska by měla být montována v suchém a bezprašném prostředí. V blízkosti montáže by neměla být umístěná obrobna, odkud by se mohl šířit kovový prach a částice. V některých případech není možné zajistit odpovídající montážní halu, a proto je nutné přiměřeným způsobem ochránit ložisko proti znečištění a před vlhkostí.

#### 3.1.1 Příprava na montáž

Před započítím montáže je nutné připravit všechny přípravky, nástroje a zařízení, které jsou potřebné pro montáž valivých ložisek. Je důležité mít nastudovaný technologický předpis, který je určen pro montáž a mazání valivých ložisek. Také je nutné provést rozměrovou kontrolu všech dílů ložiskového uzlu, jako je hřídel, vnitřní a vnější ložiskové víko, ložiskový štít, hřídelové těsnění a podobně. Pokud se začne s montáží a nebude některý díl odpovídat, tak může dojít při montáži k poškození valivého ložiska. Měření vnějšího průměru hřídele a vnitřního průměru ložiskového štítu je vhodné zkontrolovat ve čtyřech rovinách vzájemně od sebe pootočených o 45°. Pokud máme širší ložisko, tak je potřeba provést ještě další sadu měření v posunutém řezu od prvního měření. Měření je nutné provádět za stejné teploty měřidel a dílů, nesmíme tedy převážet a skladovat díly při mrazech, brát je z netemperované haly přímo na montáž a prověřovat jejich rozměry. Nejdříve musí dojít k jejich tepelnému vyrovnání.

### 3.1.2 Montáž valivých ložisek a manipulace

Ložiska vybalujeme z originálního obalu těsně před montáží, protože by mohlo dojít k jejich znečištění. Ve většině případů po vybalení valivých ložisek stačí otřít konzervační prostředek z vnitřního a vnějšího kroužku. Pouze u speciálních aplikací, které vyžadují takové plastické mazivo, které není mísitelné s konzervačním prostředkem, tak je nutné provést vymytí ložisek. Po odstranění konzervačního prostředku je potřeba ložisko co nejrychleji osušit a naplnit požadovaným plastickým mazivem. Pokud by totiž zůstalo ložisko bez maziva, došlo by k jeho korozi s následkem poškození za provozu. Ložiska, která jsou oboustranně zakrytá s trvalou tukovou náplní, se nesmí vymývat. Došlo by k odstranění nebo snížení množství maziva a tím by se zkrátila životnost valivého ložiska.

S manipulací s běžnou velikostí ložisek není problém. Postačí indukční ohřev a tepelně izolační rukavice. Při ohřevu je nutné kontrolovat teplotu ložisek. Je třeba brát zřetel na jejich teplotní stabilizaci, která je běžně 125°C. Při překročení této teploty dojde ke změně struktury materiálu. U oboustranně krytých ložisek záleží ještě na použitém plastickém mazivu. Zde může být maximální dovolená teplota pro ohřev cca 80°C.

Montáž ložisek se provádí podle jejich velikosti a typu. V žádném případě ale nesmí být použito úderů kladivem na jednu stranu ložiska. Pokud je nutné použít kladivo k naklepání, musí být na ložisko nasazen vhodný přípravek kruhového profilu. Po montáži prvního ložiska podložit hřídel vhodným přípravkem tak, aby namontované ložisko, které je již namontované i v ložiskovém štítu, nebylo nepřiměřeně namáhané na vyklopení. To by mohlo způsobit otlaky na kroužcích nebo kuličkách ložiska. Opět by došlo ke zkrácení životnosti ložiska.

Související díly, jako je ložiskový štít a víka, jsou vyrobeny z šedé litiny. Tyto díly musí být zbaveny všech nečistot, jako je slévárenský písek nebo nečistoty po obrábění. Tyto nečistoty by se mohly za provozu dostat do valivého ložiska a způsobit jeho havárii.



### 3.1.3 Záběh

Po smontování stroje je nutné provést zkoušku. Pokud budeme zkoušet elektromotor, tak musíme jeho volný konec částečně zatížit, to platí především u válečkových ložisek. Pokud by došlo ke zkoušení bez minimálně požadovaného radiálního zatížení ložiska, valivé členy ložiska by prokluzovaly a vytvořily by se na nich plošky. Ty by pak v provozu zapříčinily špatné odvalování po oběžných drahách s následnou havárií ložiska. Při zkoušce nesmí ložisko vydávat skřípavé nebo hvízdavé zvuky. Ty nám dávají najevo, že je ložisko nedostatečně namazané mazivem. Pokud by ložisko bylo poškozené při montáži, tak by vydávalo nepravidelné rázy. Při záběhu ložiska u něho dochází k jeho rychlému nárůstu teploty. Zvýšení teploty je způsobené postupným vytlačováním přebytečného maziva z prvotního namazání ložiska. Vytlačené mazivo se dostane vně ložiska na jeho vnější kroužek a během záběhu ložiska dojde postupně k ustálení teploty. Pokud by teplota stále vzrůstala, je nutné ukončit zkoušku, provést demontáž a odhalit příčinu.

### 3.1.4 Demontáž valivých ložisek

Pokud provádíme demontáž valivého ložiska, u kterého je předpoklad dalšího použití, tak nesmí působit síla potřebná pro demontáž na valivé členy. U kuličkových ložisek je potřeba použít stahovák, který stáhne ložisko za vnitřní kroužek.

## 3.2 Skladování

Dlouhodobé skladování ložisek na rozdíl od plastického maziva je možné, nepodléhá žádnému stárnutí jako mazivo. Ložiska se musí uložit ve vodorovné poloze, aby nedošlo k otlakům. Je potřeba zajistit konstantní teplotu a relativní vlhkost do 60%. Pokud chceme skladovat ložiska oboustranně zakrytá s trvalou tukovou náplní, platí zde informace o stárnutí maziva.

## 4 Cíl údržby a diagnostiky valivých ložisek

Cílem údržby a diagnostiky valivých ložisek je zajistit jejich co nejdelší bezporuchový provoz a v ideálním případě odstranit náklady způsobené havárií ložisek jejich včasnou výměnou na základě vhodné formy diagnostiky.

### 4.1 Údržba valivých ložisek

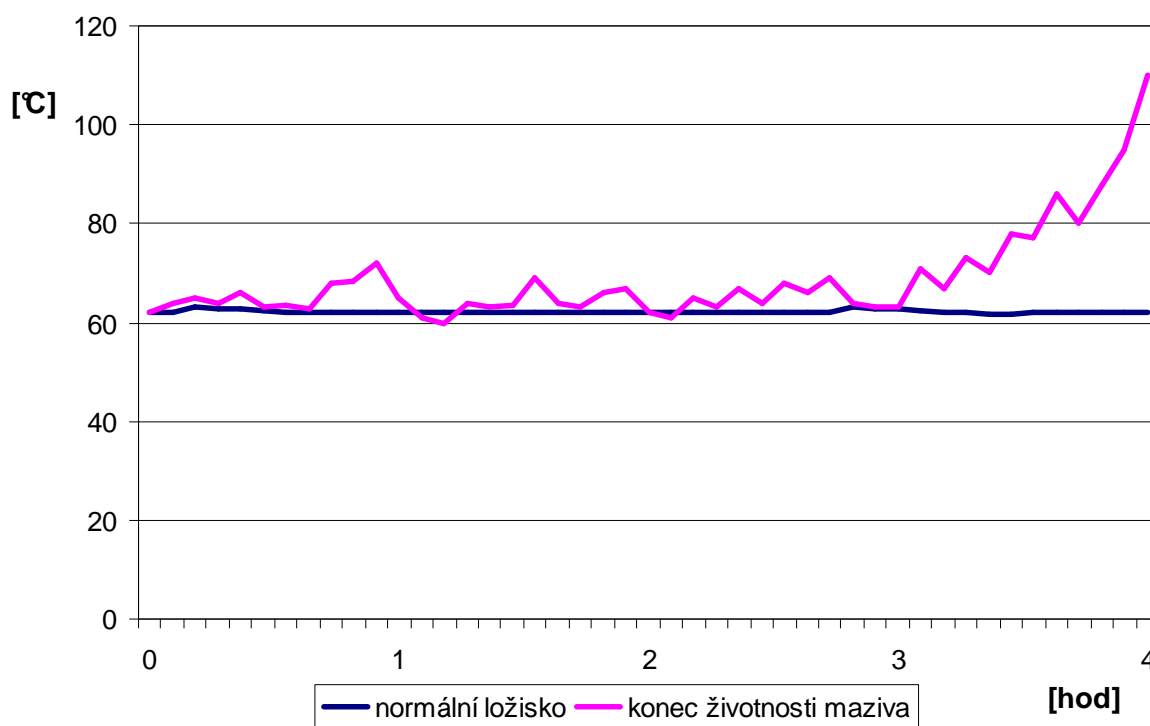
Údržba valivých ložisek u elektromotorů spočívá pouze v zajištění čistoty vně ložiskového uzlu a umístění elektromotoru ve vhodném prostředí. Dále u provedení s domazáváním ložisek provádět doplňování plastického maziva v souladu s návodem na obsluhu. Je zřejmé, že pokud budeme provozovat stroj v prašném prostředí, tak musíme počítat s pronikáním mikročástic prachu do ložiskového uzlu. Tím dojde k rychlejší degradaci maziva a s tím souvisí i poškozování oběžných drah valivého ložiska. V takovém případě se nevyhneme kratšímu domazávacímu intervalu, dřívějšímu vyčištění celého ložiskového uzlu od starého maziva. Vzhledem ke konstrukci elektromotorů, kdy není možné demontovat ložiskové víko pokud je elektromotor spojen se zařízením, je vždy nutná jeho demontáž ze zařízení a převoz na dílnu. V zásadě ani není žádná možnost odebrání vzorku plastického maziva a použití některé varianty tribodiagnostiky [1] ke kontrole maziva. Takže pokud chceme mít nějaké informace o stavu ložisek, jsme tedy odkázáni na vibrodiagnostiku nebo na diagnostiku pomocí měření teploty ložiska za provozu.

### 4.2 Vibrodiagnostika valivých ložisek

Vibrodiagnostika využívá vibrace ke zjišťování a určování parametrů o stavu zařízení. Pro tuto formu diagnostiky [2] valivých ložisek je nutné, aby zařízení bylo v provozu. Nejrozšířenějším snímačem pro monitorování vibrací jsou **akcelerometry**. Jejich výstup může být zpracován na různé veličiny. Z hlediska vibrodiagnostiky je důležité pravidelné měření s archivací naměřených dat. Určit pomocí vibrodiagnostiky, že je nutná výměna valivého ložiska, je možné jen na základě porovnání naměřených dat a jejich vhodným zpracováním do tabulek a grafů.

### 4.3 Kontrola teploty valivých ložisek

Teplota je další veličinou, která nám reaguje na změny v ložisku. Pokud domážeme ložisko, vždy se nám to na krátkou dobu projeví zvýšením teploty. Toto zvýšení je pouze do doby, než dojde k důkladnému prohnětení nového plastického maziva v ložisku a jeho rozmístění v ložiskovém uzlu. Pokud budeme mít konstantní zatížení ložiska, tak z historie měření teploty bez problému poznáme, zda bylo provedeno doplnění maziva v předepsaném intervalu. Doba, za kterou pak teplota poklesne zpět na původní ustálené hodnoty, zase vypovídá o množství doplněného maziva. Pokud dochází ke změnám v zatížení ložiska, tak se s tím mění i naměřené teploty. Pokud tedy máme informace o zatížení stroje, tak dokážeme úspěšně filtrovat změny teplot na ložisku vlivem zatížení. Není důležité, zda ustálená provozní teplota je 50°C nebo 100°C. Stroj musí být dimenzován na provozní teplotu a nás zajímají odchylky od ustálené hodnoty. V grafu č. 1 [4] je uveden příklad změny teploty, kdy v ložisku končí životnost maziva. Zásah je nejpozději nutný, kdy křivka teploty bude progresivně stoupat.



**Graf 1** Teplotní chování ložisek

## 5 Trojfázový asynchronní motor

Trojfázový asynchronní motor je výrobně jednoduchý, a proto nejlevnější elektrický motor s velkou mírou spolehlivosti. Je nejčastěji používaným motorem pro pohon všech možných zařízení. Má také ale nevýhodu velkého proudového nárazu do sítě při rozběhu. Druhou nevýhodou je induktivní účinník  $\cos \varphi$ , který způsobuje jalové zatížení sítě.

Konstrukce asynchronního elektromotoru se skládá ze statoru a rotoru. Stator a rotor jsou složeny z dynamových plechů, ve kterých jsou vyraženy drážky pro vinutí. Podle provedení rotoru se dělí asynchronní motory na:

- motory s kotvou nakrátko
- motory s kotvou kroužkovou

Rotor s kotvou nakrátko má rotorové vinutí zhotovené z tyčí, které jsou na obou koncích nakrátko spojeny vodivými kruhy. Materiál je ve většině případů hliník, protože je možné lepší odstříknutí rotorových klecí než při použití mědi.

Motor s kotvou kroužkovou má v rotorových drážkách vložené trojfázové vinutí. Začátky vinutí jsou vyvedeny na tři navzájem odizolované kroužky umístěné na hřídeli a přes tyto kroužky a sběrací kartáče je vinutí připojeno k regulačním odporům.

Stupeň krytí asynchronních motorů je u běžných provedení IP55, s povrchovým chlazením vlastním ventilátorem.

### 5.1 Princip činnosti asynchronního motoru

Po připojení trojfázového statorového vinutí na napájecí síť, začne proud procházející statorovým vinutím vytvářet točivé magnetické pole. Rychlost otáčení tohoto magnetického pole (synchronní otáčky) závisí na frekvenci napájecí sítě a na počtu pólových dvojic stroje.

Indukční čáry točivého magnetického pole protínají vodiče a indukují v nich napětí. Napětí indukované v rotoru vyvolá v uzavřeném rotorovém vinutí průtok proudu. Na rotorové vinutí, nacházející se v magnetickém poli a protékané proudem, působí mechanická síla. Na základě působení této síly se začnou vychylovat vodiče ve směru otáčení magnetického pole. Při postupném narůstání otáček se snižuje relativní pohyb vodičů vůči točivému magnetickému poli, a tím se snižuje indukované napětí a proud. S menším napětím a proudem se sníží i síla, která působí na vodič v magnetickém poli. Tím dojde k ustálenému stavu otáček rotoru na určité hodnotě, která je ale menší než jsou synchronní otáčky. Synchronních otáček není možné dosáhnout, protože by se přestalo indukovat napětí a tím by přestala působit síla, která vytváří točivý moment. Provoz neztíženého elektromotoru nazýváme provozem naprázdno. Přesto jsou otáčky vždy o něco menší než synchronní. Toto zpomalení v otáčkách se nazývá skluz.

Podle počtu pólových dvojic ( $2p$ ) rozlišujeme synchronní otáčky motoru:

- $2p=2$  jsou  $n=3000 \text{ min}^{-1}$
- $2p=4$  jsou  $n=1500 \text{ min}^{-1}$
- $2p=6$  jsou  $n=1000 \text{ min}^{-1}$
- $2p=8$  jsou  $n=750 \text{ min}^{-1}$

### 5.1.1 Použití elektromotoru

Elektromotor má tři základní druhy použití. První je jako **elektromotor**, kdy dochází k odebrání elektrické energie ze sítě. Druhou možností, jak může stroj pracovat je jako **generátor**. Stroj musí být poháněn hnacím strojem nadsynchronními otáčkami. Třetím provozním způsobem asynchronního motoru je **brzda**. Během tohoto provozu, ale dochází k odběru většího proudu než je proud nakrátko (proud odebíraný ze sítě při zastaveném rotoru) a tím dochází ke značné tepelné zátěži elektromotoru. Z našeho pohledu je mnohem výhodnější použít pro brzdění elektromagnetickou brzdu. Tuto brzdu můžeme zároveň použít jako pro ponechání zařízení v požadované poloze i po vypnutí od elektrické sítě. Také elektromagnetická brzda nám teplotně nezatěžuje elektromotor a tím nedochází k zbytečnému ohřívání valivých ložisek.

### 5.1.2 Spouštění asynchronního motoru

Spouštění asynchronních motorů je možné zaprvé přímým připojením na síť, které je doprovázeno velkým proudovým nárazem. U motorů s kotvou nakrátko se omezuje snížením napětí a tím i momentu. Další možností je přepínáním statorového vinutí z hvězdy do trojúhelníka, kdy se při zapojení do hvězdy sníží napětí fáze v poměru  $1:\sqrt{3}$  a záběrový proud a moment se sníží v poměru 1:3. Motor se rozběhne v zapojení do hvězdy do jmenovitých otáček a potom se provede přepnutí zapojení elektromotoru do trojúhelníka.

### 5.1.3 Změna otáček

Řízení otáček asynchronního motoru je možné buď změnou napájecího napětí, ale daleko častěji se dnes používá měničů kmitočtu napájecího napětí. Změna frekvence napájecích napětí s sebou přinesla také další negativní jev, a tím jsou ložiskové proudy. Ložiskové proudy nám do značné míry ovlivňují životnost ložisek. Jejich vlivem dochází k poškození oběžných drah v ložiskovém kroužku a k rychlé havárii ložiska. Při napájení asynchronního elektromotoru z měniče kmitočtu je nezbytně nutná vhodná forma vibrodiagnostiky ložisek. Včasnou identifikací se dá předejít i poškození vinutí po destrukci zasaženého ložiska.

## 5.2 Ložiskový uzel elektromotoru

Asynchronní motor má v běžném provedení dva ložiskové uzly. V každém z těchto uzlů je umístěné jedno valivé ložisko.

### 5.2.1 Přední ložiskový uzel

Pro ložiskový uzel asynchronního elektromotoru je nejvhodnější volba kuličkových ložisek. Jako axiálně pevné se volí ložisko na přední straně motoru **NDE** (strana ventilátoru). Na hřídeli je z vnější strany elektromotoru zajištěné pojistným kroužkem proti posunutí. V ložiskovém štítu je možné použít dvojí způsob. U menších ložisek (řada ložisek do velikosti 6215 včetně), které nejsou v provedení pro domazávání, ale mají tukovou náplň pro celou dobu životnosti ložiska, je zajištění v ložiskovém štítu provedené z vnitřní strany vnitřním pojistným kroužkem. Z vnější strany je ložiskové víčko, které může tvořit jeden díl společně s ložiskovým štítem. U větších ložisek (od velikosti 6215) je výhodné použít ložiska s provedením ložiskových štítů pro domazávání. Konstrukce ložiskové komory by měla být taková, aby mohlo spotřebované a znehodnocené plastické mazivo být vytlačené z ložiska ven novým mazivem.



### 5.2.2 Zadní ložiskový uzel

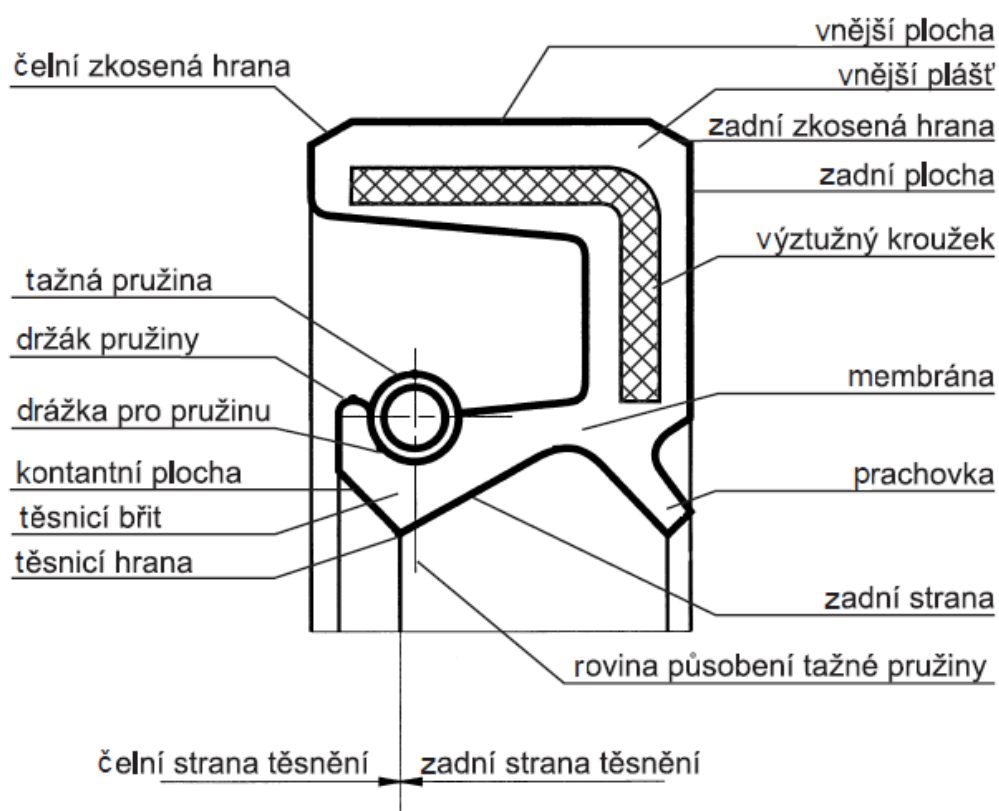
Na straně pohonu **DE** (zadní strana motoru) je pak kuličkové ložisko s axiální vůlí a s axiálním předpětím vytvořené ložiskovou pružinou. Toto ložisko nemusí být na hřídeli z vnější strany zajištěno pojistným kroužkem. V ložiskovém štítu je pak vůle v axiálním směru pro možnosti posunutí ložiska z důvodu výrobních tolerancí. Za provozu dochází také k délkové změně vlivem tepelných roztažností materiálů. Toto ložisko je pak z vnější strany axiálně předepnuté vhodnou ložiskovou pružinou. V provedení bez domazávání není z vnitřní strany motoru v ložiskovém štítu pojistný kroužek. Ten by byl na závadu, protože by nebylo možné zajisti axiální posun ložiska na straně DE směrem dovnitř elektromotoru. U větších ložisek, se jako na straně NDE dělá provedení s domazáváním. I v tomto případě musí být zajištěná dostatečná axiální vůle mezi kuličkovým ložiskem a vnitřním ložiskovým víčkem. Provedení s kuličkovým ložiskem je v zásadě vhodné pro pohony spojkou nebo pro malé radiální zatížení. Pokud je v aplikaci nutný pohon řemenovým převodem, volí se místo kuličkového ložiska ložisko válečkové. Rozměry kuličkového ložiska např. řady 6317 jsou stejné s rozměry válečkového ložiska řady NU317. Poslední dvojčíslí v označení ložiska určuje jeho vnitřní průměr. Ten dostaneme po vynásobení tohoto dvojčíslí číslem 5. Takže ložiska řady 17, mají vnitřní průměr  $17 \times 5 = 85$  mm. Při použití válečkového ložiska je nutné axiálně zajistit vnější kroužek válečkového ložiska. Axiální posun je u tohoto provedení zajištěn možností axiálního posunu vnitřního kroužku ložiska proti vnějšímu kroužku ložiska, ve kterém je umístěná klec s válečky.

### 5.2.3 Těsnění ložiskových uzlů

Na těsnění ložiskových uzlů je možné použít celou škálu hřídelových těsnění. Jedná se jednak o **radiální hřídelové těsnící kroužky** HTK (gufera), která jsou zalisovaná do ložiskových vík. Za provozu dochází k pohybu hřídele proti těsnicímu břítku. V tomto případě vzniká třením břítku o těleso hřídele nežádoucí oteplení ložiskového uzlu. Existují dvě základní provedení radiálních těsnění:

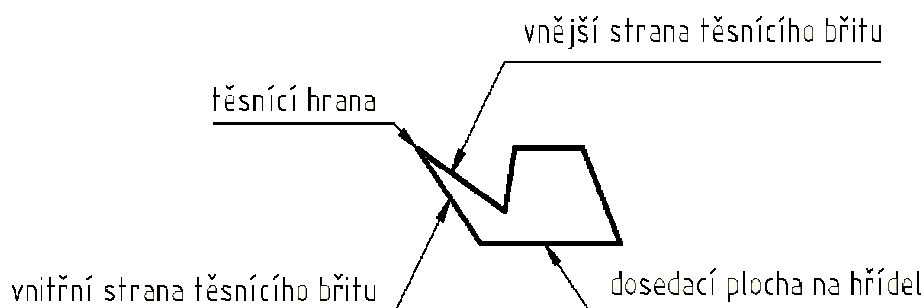
- provedení s prachovkou (viz obrázek č. 1)
- provedení bez prachovky

Radiální hřídelové těsnící kroužky jsou vhodnější na těsnění olejů, kde nám olej pomáhá s odvodem tepla a zároveň maže břit těsnění. Montáž hřídelového těsnění je možná dvěma způsoby. Pokud potřebujeme zajistit ložiskový uzel proti úniku oleje ven, tak montujeme radiální těsnění pružinou dovnitř. Pokud používáme plastické mazivo, tak využijeme provedení bez prachovky a namontujeme jej pružinou ven. Tím zajistíme ložiskový uzel před vnikáním vody do prostoru ložiskového uzlu.



**Obrázek 1** Radiální hřídelové těsnění

Další možnost jsou **V-kroužky**. Ty působí v axiálním směru, za chodu se otáčí společně s hřídelem a jejich těsnicí břit se pohybuje vůči těsnicí ploše. V-kroužek je znázorněn na obrázku č. 2. U tohoto provedení jsou menší mechanické ztráty třením, vzniká tím méně nežádoucího tepla, které ohřívá prostor ložiskového uzlu. Také jakost povrchu, především hřídelového tělesa, nemusí být na takové úrovni, jako u radiálního těsnění. V-kroužky jsou vhodnější a levnější variantou těsnění ložiskových uzlů mazaných plastickým mazivem.



**Obrázek 2** V-kroužek

## 6 Řešení mazání valivých ložisek

Většina výrobců elektromotorů používá pro mazání ložisek plastická maziva řady UNIREX N, které je na bázi lithného komplexního mýdla. Jedná se o univerzální plastické mazivo, které se vyznačuje dlouhou životností. Maziva se používají v celé řadě průmyslových aplikací včetně mazání elektromotorů. Mají vynikající mechanickou stabilitu a dlouhou životnost. Používají se pro provozní teploty od -30 do 170 °C. Vyznačují se odolností vůči vodě a chrání proti korozi.

### 6.1 Vlastnosti a použití

Plastická maziva jsou vyrobena na bázi parafínových ropných olejů a jsou zahuštěna lithným komplexním mýdlem. Dodávají se ve dvou konzistentních třídách:

- UNIREX N2 – konzistentní třída NLGI 2
- UNIREX N3 – konzistentní třída NLGI 3

Plastické mazivo UNIREX N2 je vhodné k použití na kluzná ložiska, pro valivá ložiska strojů, mazání ventilů. Plastické mazivo UNIREX N3 se používá při vyšších provozních teplotách (do 170°C), dále pro lepší utěsnění proti vlhkosti a pro rychloběžná ložiska. U elektromotorů je možné použít oba typy konzistentních tříd. Vzhledem k tomu, že některé aplikace potřebují namontovat elektromotor vertikálně, hřídelí dolů, tak v takovém případě je nevhodné použít maziva s konzistentní třídou NLGI 2. Dále pro použití při vyšších provozních otáčkách a pro vyšší teploty je také vhodnější UNIREX N3. Z těchto důvodů se používá plastické mazivo UNIREX N3 jako nejrozšířenější mazivo pro mazání elektrických motorů.

### 6.2 Výpočet množství maziva

Při prvním namazání můžeme ložisko zaplnit různými způsoby. Množství maziva u elektromotorů záleží hlavně na jejich otáčkách. Takže nás zajímá otáčkový faktor ložiska [3], [5], který v případě mazání plastickým mazivem určí, jak má být ložisko zaplněné mazivem.

$$A = d_m \cdot n$$

A otáčkový faktor

$d_m$  střední průměr ložiska v mm

n otáčky za  $\text{min}^{-1}$

Pro množství plastického maziva nám výsledná hodnota A určí zaplnění valivého ložiska mazivem. Hodnoty otáčkového čísla a zaplnění ložiska jsou uvedeny v tabulce č. 6.

Otáčkové číslo A	Způsob mazání plastickým mazivem
$A < 50\,000$	Ložisko zaplnit zcela mazivem
$50\,000 < A < 400\,000$	Ložisko zaplnit z 30% volného prostoru ložiska
$A > 400\,000$	Ložisko zaplnit z 20% volného prostoru ložiska

**Tabulka 6** Míra zaplnění ložiska mazivem

Dále potřebujeme znát hmotnost maziva, která se vejde do zcela zaplněného valivého ložiska plastickým mazivem. Tuto hmotnost můžeme buď ověřit zkouškou, kdy nejdříve zvážíme ložisko, potom jej zcela zaplníme mazivem a opět zvážíme. Další možnost je použít následujícího vzorce [4], který uvádí firma FAG pro kuličková ložiska.

$$m_{mku} = \left[ \frac{\pi}{4} \cdot B \cdot (D^2 - d^2) \cdot \frac{1}{10^9} - \frac{m_{ložiska}}{7800} \right] \cdot 10^6 \cdot 0,9$$

B je šířka ložiska v mm

D vnější průměr ložiska v mm

d vnitřní průměr ložiska v mm

V následující tabulce č.7 jsou uvedeny katalogové hmotnosti kuličkových ložisek a vypočtená hmotnost plastického maziva v závislosti na otáčkách.

					Otáčky [ $\text{min}^{-1}$ ]				Hmotnost maziva, pro plné namazání ložiska [g]	Hmotnost ložiska [kg]	Hmotnost maziva pro první namazání ložiska (30%) [g]
					3000	1500	1000	750			
Typ ložiska	d [mm]	D [mm]	B [mm]	d <sub>m</sub> [mm]	n * d <sub>m</sub>	n * d <sub>m</sub>	n * d <sub>m</sub>	n * d <sub>m</sub>			
<b>6210</b>	50	90	20	70	210000	105000	70000	52500	26	0,46	<b>8</b>
<b>6310</b>	50	110	27	80	240000	120000	80000	60000	62	1,05	<b>19</b>
<b>6212</b>	60	110	22	85	255000	127500	85000	63750	42	0,78	<b>13</b>
<b>6312</b>	60	130	31	95	285000	142500	95000	71250	95	1,70	<b>29</b>
<b>6213</b>	65	120	23	92,5	277500	138750	92500	69375	51	0,99	<b>15</b>
<b>6313</b>	65	140	33	102,5	307500	153750	102500	76875	116	2,10	<b>35</b>
<b>6215</b>	75	130	25	102,5	307500	153750	102500	76875	61	1,20	<b>18</b>
<b>6315</b>	75	160	37	117,5	352500	176250	117500	88125	176	3,00	<b>53</b>
<b>6216</b>	80	140	26	110	330000	165000	110000	82500	81	1,40	<b>24</b>
<b>6316</b>	80	170	39	125	375000	187500	125000	93750	205	3,60	<b>61</b>
<b>6217</b>	85	150	28	117,5	352500	176250	117500	88125	95	1,80	<b>28</b>
<b>6317</b>	85	180	41	132,5	397500	198750	132500	99375	239	4,25	<b>72</b>
<b>6318</b>	90	190	43	140	-	210000	140000	105000	286	4,90	<b>86</b>
<b>6219</b>	95	170	32	132,5	397500	198750	132500	99375	150	2,60	<b>45</b>
<b>6319</b>	95	200	45	147,5	-	221250	147500	110625	333	5,65	<b>100</b>
<b>6320</b>	100	215	47	157,5	-	236250	157500	118125	396	7,00	<b>119</b>

**Tabulka 7** Vypočtené hmotnosti plastického maziva

Velikosti ložisek, která byla použita k výpočtu, jsou používána u elektromotorů firmy Siemens Elektromotory s.r.o. závod Frenštát pod Radhoštěm. Z vypočtených hodnot je vidět, že všechna použitá ložiska se musí pro první namazání zaplnit plastickým mazivem z 30%.

Ověření v namazání ložisek při praktické zkoušce, spojené s převážením, je zobrazeno na níže uvedených obrázcích č. 3 a 4. Dávkování maziva do ložiska provedeno na montáži elektromotorů dávkovacím zařízením, množství maziva nastaveno dle tabulky č. 7.



**Obrázek 3** Ložisko namazané z 30%



**Obrázek 4** Zcela zaplněné ložisko mazivem

Pro výpočet množství maziva, které je potřebné pro domazání ložiska, použijeme následující vzorec [4], [5]:

$$G = 0,005 \cdot D \cdot B \quad [\text{g}]$$

G množství maziva v gramech

D vnější průměr ložiska v mm

B šířka ložiska v mm

Typ ložiska	d [mm]	D [mm]	B [mm]	d <sub>m</sub> [mm]	množství maziva pro domazávání [g]
<b>6210</b>	50	90	20	70	<b>9</b>
<b>6310</b>	50	110	27	80	<b>15</b>
<b>6212</b>	60	110	22	85	<b>12</b>
<b>6312</b>	60	130	31	95	<b>20</b>
<b>6213</b>	65	120	23	92,5	<b>14</b>
<b>6313</b>	65	140	33	102,5	<b>23</b>



<b>6215</b>	75	130	25	102,5	<b>16</b>
<b>6315</b>	75	160	37	117,5	<b>30</b>
<b>6216</b>	80	140	26	110	<b>18</b>
<b>6316</b>	80	170	39	125	<b>33</b>
<b>6217</b>	85	150	28	117,5	<b>21</b>
<b>6317</b>	85	180	41	132,5	<b>37</b>
<b>6318</b>	90	190	43	140	<b>41</b>
<b>6219</b>	95	170	32	132,5	<b>27</b>
<b>6319</b>	95	200	45	147,5	<b>45</b>
<b>6320</b>	100	215	47	157,5	<b>51</b>

**Tabulka 8** Domazávací množství

## 7 Závěr

Pro mazání valivých ložisek elektromotorů je nejvhodnější plastické mazivo. Podle provozních podmínek, jako jsou otáčky, teplota a poloha valivého ložiska, volíme plastické mazivo s vhodnou konzistentní třídou. Při nižších otáčkách, nižších teplotách, horizontální montáži hřídele jsou vhodnější maziva s konzistentní třídou NLGI 2. Pokud je elektromotor provozován při vyšších otáčkách nebo teplotách, a také při svislé montáži hřídele, tak je vhodnější mazivo s konzistentní třídou NLGI 3.

Způsob těsnění ložiskových uzlů se liší podle zvoleného způsobu mazání valivých ložisek. Při použití mazacího oleje musí být kvalitně obrobený povrch hřídele, na který dosedá těsnící břit radiálního těsnícího kroužku. Při špatné jakosti povrchu by došlo k úniku oleje z ložiskového uzlu. Došlo by tím ke špatnému mazání valivého ložiska a z ekologického hlediska i k úniku oleje do okolního prostředí. Těsnění ložiskových uzlů, mazaných plastickým mazivem, jsou méně náročná a mají i výhodu v lepší ochraně valivého ložiska před vnikáním vlhkosti a vody.

Množství plastického maziva, které je nutné pro první namazání valivého ložiska závisí na otáčkovém faktoru ložiska, který je uveden v tabulce č. 6. U valivých ložisek, která jsou používána u elektromotorů firmy Siemens Elektromotory s.r.o. závod Frenštát pod Radhoštěm, vychází dle tabulky č. 7 zaplnění ložisek z 30% volného prostoru ložiska. Pokud by se valivé ložisko zcela zaplnilo plastickým mazivem, došlo by k jeho přehřívání. V uvedené firmě došlo k ověření dvou variant naplnění ložisek plastickým mazivem. První varianta naplnění ložisek z 30% a druhá v varianta v zaplnění ložiska v celém objemu volného prostoru. Oteplení ložisek, zaplněných z 30%, bylo o 3 – 5 °C nižší, než oteplení ložisek, které byly zcela zaplněny mazivem.

Volba plastického maziva a jeho množství má vliv na teplotu a životnost valivého ložiska.



## Literatura

- [1] ZIEGLER, J., HELEBRANT, F., MARASOVÁ, D. *Technická diagnostika a spolehlivost I – Tribodiagnostika*, vydala VŠB – Technická universita Ostrava 2004, 158 str., dotisk 1. vydání, ISBN 80 – 7078 – 883 – 6
- [2] ZIEGLER, J., HELEBRANT, F. *Technická diagnostika a spolehlivost II – Vibrodiagnostika*, vydala VŠB – Technická universita Ostrava 2005, 178 str., dotisk 1. vydání, ISBN 80 – 248 – 0650 –9
- [3] SCHAEFFLER GROUP *Rolling bearings*, vydal Schaeffler KG 2006
- [4] SCHAEFFLER GROUP *Schmierung von Walzlagern*, vydal Schaeffler KG 2002, Publ.-Nr. WL 81 115/4 DA
- [5] SKF: *Katalog 6000 CS*, vydal SKF Group 2007
- [6] <http://www.mmspektrum.com/clanek/plasticka-maziva-a-jejich-cistota>
- [7] <http://www.hazmioil.cz/index.php?area=plasticka>
- [8] <http://www.fag.cz/content.schaeffler.cz/cs/index.jsp>